

Czasoprzestrzenie kwantowych czarnych dziur

Jerzy Lewandowski

Popularne streszczenie

Zgodnie z klasyczną teorią Einsteina, horyzont czarnej dziury oddziela dwa regiony czasoprzestrzeni, jeden stacjonarny drugi zapadający się i wytwarzający osobliwości. Spod horyzontu nie wydostaje się żadna informacja do świata zewnętrznego. Teoria klasyczna przewiduje również sytuację odwrotną, odwróconą w czasie. Nazywamy ją białą dziurą. Wtedy wewnątrz czasoprzestrzeni rozszerza się, a oddzielający ją od zewnątrz horyzont nie pozwala na przejście informacji do środka. Modele kwantowe pola grawitacyjnego przewidują, że kolaps zachodzący wewnątrz czarnej dziury ustaje, następnie wewnątrz czarnej dziury rozszerza się zamieniając się we wewnątrz białej dziury. Efekt ten nazywany jest odbijaniem. O ile w kwestii odbijania się wewnątrz czarnej/białej dziury wszystkie modele wywodzące się z Kwantowej Grawitacji Pętlowej (LQG) są zgodne jakościowo, o tyle duża rozbieżność w przewidywaniach dotyczy czasoprzestrzeni zewnętrznej czarnej dziury. Opiszemy teraz krótko najważniejsze różne koncepcje znane w literaturze.

Zgodnie z paradygmatem Ashtekara-Bojowalda kwantowa dynamika wewnątrz czarnej dziury zaimplementuje się na zewnątrz w postaci parowania, podobnego do znanego zjawiska przewidywanego przez Hawkinga, ale o innym mechanizmie. Różnica polega też na bilansie informacji - w paradygmacie AB nic nie ginie, bo na poziomie teorii kwantowej ewolucja stanu geometrii i materii jest unitarna.

Kwantowo-klasyczna czasoprzestrzeń Rovelliego-Haggarda w przeszłości jest izometryczna z zewnętrzną czasoprzestrzenią czarnej dziury Schwarzschilda. W szczególności posiada odpowiadający jej horyzont. Horyzont ten wchodzi jednak w rejon kwantowy, który pojawia się na jego drodze. Nowy horyzont, który opuszcza rejon kwantowy, jest już horyzontem białej dziury. Obecność regionu kwantowego legitymizuje interpretację tej struktury jako przejście kwantowe czarna dziura / biała dziura.

Husain i współpracownicy śledzili powstawanie, ewolucję i znikanie horyzontów używając efektywnych kwantowo zmodyfikowanych równań Einsteina i ich rozwiązań: efektywnych kwantowo zmodyfikowanych czasoprzestrzeni. Doszli do wniosku, że odbiciu wewnątrz towarzyszy fala uderzeniowa przechodząca przez zewnątrz.

Wspólną cechą powyższych trzech alternatywnych scenariuszy jest proces rozpadu czarnej dziury zainicjowany odbiciem jej wnętrza. Różnią się one co do tego, czy będzie to wyparowanie, przejście w białą dziurę czy fala uderzeniowa.

Jakościowo inny scenariusz wynika z prac Ashtekara, Olmedo i Singha wyprowadzających czasoprzestrzeń czarnej dziury z jej wnętrza. Znalezione tam efektywne tensor metryczny prowadzi do rozszerzenia czasoprzestrzeni w postaci nieskończonej wieży zmodyfikowanych czasoprzestrzeni Schwarzschilda. Odbicie czasoprzestrzeni wnętrza próżni następuje pod horyzontem i tam pozostaje, wewnątrz ekspanduje w kolejną kopię czasoprzestrzeni. Podobny wniosek wyciągnął Bobula, a później autor niniejszego projektu i współpracownicy z analizy wyprowadzonego przez siebie kwantowego modelu Oppenheimera-Snydera.

Celem naszego projektu jest głębsze zbadanie tej rozbieżności. Jaki wpływ na czasoprzestrzeń poza czarną dziurą ma to, że dzięki efektom kwantowym zapadające się wewnątrz zamiast wpadać do osobliwości odbija się, a następnie rozszerza wygładzając osobliwość?

Efekty kwantowe mogą wpływać na czasoprzestrzeń czarnych dziur również z zewnątrz. Rzeczywiście, realistyczne czarne dziury są zanurzone w kosmologicznym wszechświecie, który rozszerza się po Wielkim Odbiciu zgodnie z modelami Kwantowej Kosmologii Kwantowej. To prowadzi do kolejnego pytania:

Jaki wpływ na współistniejącą z nim czarną dziurę mają kwantowe własności otaczającego ją odbitego wszechświata, w szczególności, gdy wszechświat był silnie ściśnięty, więc zawarta w nim czarna dziura była silnie skompresowana?

Aby znaleźć odpowiedzi na te pytania, zbadamy mechanizm generowania efektywnych zmodyfikowanych równań Einsteina z modeli LQG oraz zbadamy same równania. Zbadamy ich rozwiązania, znane przestrzenie efektywne, jak i możliwe nowe, które odkryjemy. Zbadamy problem spójności pomiędzy regionami czasoprzestrzeni zawierającymi zapadającą się materię po jednej stronie powierzchni złączenia, a pustą efektywną czasoprzestrzenią po drugiej stronie. W klasycznej teorii względności jest to związane z modelem Oppenheimera-Snydera. Zbadamy jego kwantowo zmodyfikowaną wersję. Będziemy również konstruować i badać hybrydowe czasoprzestrzenie kwantowo-klasyczne, do czego prowadzą i czy są fizycznie uzasadnione.

Odejście efektywnego pola grawitacyjnego od klasycznych równań Einsteina może być postrzegane jako obecność nieznanego źródła grawitacji. Przecież tensor energii-pędu zdefiniowany przez klasyczne równania Einsteina nie jest zerowy. Czy efekt ten może być podobny do tego, który nazywany jest ciemną materią?